

Juha-Matti Nousiainen

Taajuusmuuttajan turvamoduulin demolaitteisto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

27.11.2016

Tekijä(t) Otsikko	Juha-Matti Nousiainen Taajuusmuuttajan turvamoduulin demolaitteisto
Sivumäärä Aika	37 sivua 27.11.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Tuotepäällikkö Lasse Lipsanen, ABB Drives Oy Lehtori Markku Inkinen, Metropolia
<p>Työn tarkoituksena oli kehittää ABB Drives Oy -yhtiölle laitteisto, jolla olisi mahdollista esitellä ACS880-01-taajuusmuuttajaan kytkettävän FSO-11-turvamoduulin toimintoja. Kyseinen turvamoduuli oli juuri markkinoille tullut tuote ja sen tarkoitus oli laajentaa ACS880-taajuusmuuttajaperheen soveltuvuutta myös turva-automaatiojärjestelmiin, joten tuotteen markkinoinnissa oli selkeä tarve kyseiselle esittelylaitteistolle.</p> <p>Koska laitteiston olisi tarkoitus kulkea myyntihenkilöstön mukana, sen piti olla myös tarpeeksi kompakti ja kevyt yhden ihmisen kuljetettavaksi. Koska ACS880-01-taajuusmuuttajan esittelyyn oli jo olemassa demosalkku, hyödynnettiin tätä jo olemassa olevaa konstruktiota, mahdollisuuksien mukaan. Pääosa työstä olikin laitteiston ohjaukseen käytettävän tietokoneohjelman suunnittelua ja ohjelmointia. Ohjelmisto tehtiin LabView-kehitysympäristöllä, koska siitä oli jo aiemmissa vastaavatyypisissä projekteissa hyviä kokemuksia.</p> <p>Ohjelmiston käytöstä pyrittiin tekemään niin yksinkertaista ja helppoa, että myyntihenkilö voisi keskittyä täysipainoisesti tuotteen esittelyyn. Ohjelman käyttö onnistuikin käytännössä pelkällä hiirellä, mikä on myös etu esittelytilanteessa. Lisäksi painikkeiden ja ohjainten määrä käyttöliittymässä pyrittiin pitämään kohtuullisena, joka selkeyttää ohjelman käyttöliittymää ja nopeuttaa sen omaksumista.</p> <p>Ohjelman ja laitteiston välinen kommunikointi päätettiin toteuttaa Modbus TCP/IP -väylän kautta, jolloin ohjelmaa ajavaan tietokoneeseen ei tarvita tätä käyttöä varten kuin Ethernet-liityntä. Joten ohjelmaa voidaan ajaa lähes kaikissa Windows-tietokoneissa, joissa on verkkokortti. Näin demolaitteiston mukana ei myöskään tarvitse välttämättä kuljettaa omaa tietokonetta, vaan mikä tahansa verkkokortilla ja vähintään Windows 7 -käyttöjärjestelmällä varustettu tietokone käy. Myös tämä nähtiin etuna ajatellen laitteen kuljettamista mukana, esimerkiksi työmatkoilla.</p>	
Avainsanat	Turvamoduuli, taajuusmuuttaja, FSO-11, ACS880-01, LabView, Modbus

Author(s) Title	Juha-Matti Nousiainen Frequency converter safety module demo system
Number of Pages Date	37 pages 27 November 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Technology
Specialisation option	
Instructor(s)	Lasse Lipsanen, Product Manager, ABB Drives Oy Markku Inkinen, Senior Lecturer, Metropolia
<p>The purpose of this study was to develop a demo system for FSO-11 safety module to ABB Drives Oy. With this demo it would be possible to demonstrate FSO-11 safety module functions when it is connected to ACS880-01 frequency converter. FSO-11 safety module had just entered the market, and the purpose of this module was to expand the suitability of ACS880-01 frequency converter also for safety automation systems. Therefore the marketing team of this module needed a system to demonstrate the module and its functions.</p> <p>Because the demo system should be carried with sales persons, it had to be compact and light enough for one person to transport it. As the demo case for the ACS880-01 frequency converter already existed, demo for the FSO-11 module was planned to base on that system. The main task of this study was to design and program the software for the demo that controls the system and shows graphically how the safety functions work. Software was made by LabView development system, because the LabView was used earlier in similar projects with good success.</p> <p>The use of the software was aimed to be as easy and simple as possible, so the sales person could fully focus the demonstration of the safety module. It is also possible to use the software only by mouse, which was seen as an advantage too. Furthermore the number of buttons and other controls on the user interface was kept as low as possible, which clarifies and simplifies the user interface.</p> <p>Communication between the computer and demo system was decided to implement with Modbus TCP/IP bus, because this requires only Ethernet port on the computer. Accordingly, it is possible to run the demo software almost with all Windows 7 (or later) computers which have a network card. This is an advantage too, because this way it is not necessary to carry a specific computer for the demo system for example on business trips.</p>	
Keywords	Safety Module, Frequency converter, FSO-11, ACS880-01, LabView, Modbus

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Taajuusmuuttajan turvamoduuli	2
2.1.1	Turvamoduulin elektroniikka	3
2.1.2	Turvamoduulin liitännät	3
2.2	Moduulin turvafunktiot	4
2.2.1	Safe torque off (STO)	4
2.2.2	Safe stop with ramp monitoring (SS1)	5
2.2.3	Safe stop emergency with ramp monitoring (SSE)	6
2.2.4	Safely-limited speed (SLS)	7
2.2.5	Safe maximum speed (SMS)	7
3	Laitteisto	8
3.1	Demolaitteiston käyttötarkoitus	8
3.2	Demolaitteen rakenne	9
3.3	Turvamoduulin vaatimat lisäkytkennät	10
4	Ohjelmisto	11
4.1	Yleistä	11
4.2	Vaatimukset	12
4.3	Ohjelman asennus	12
5	Ohjelmiston käyttö	14
5.1	Ohjelmiston käyttöliittymä	14
5.2	SLS-turvafunktion toiminta	15
5.3	SMS-turvafunktion toiminta	16
5.4	SS1-turvafunktion toiminta	17
5.5	SSE-turvafunktion toiminta	18
5.6	STO-turvafunktion toiminta	19
6	Ohjelmiston toiminta	20
6.1	Taajuusmuuttajan ohjaus	20
6.2	Taajuusmuuttajan alustaminen	22
6.3	Pääsilmukka	24

6.3.1	Ethernet-liikenteen alustus	26
6.3.2	Käyttöliittymän turvafunktiopainikkeiden ja nopeussäätimen luku	26
6.3.3	ABB Enhanced -paketin generointi taajuusmuuttajalle	27
6.3.4	ABB Enhanced -paketin kirjoitus ja luku Ethernet-väylän kautta	28
6.3.5	Moottorin käynnistyksen ohjaus	28
6.3.6	Reset-painikkeen väri-indikaattori	29
6.3.7	Moottorinopeuden skaalaus	29
6.3.8	Turvafunktiovalitsin: ei aktiivista turvafunktiota	30
6.3.9	Turvafunktiovalitsin: STO-turvafunktio	30
6.3.10	Turvafunktiovalitsin: SSE-turvafunktio	31
6.3.11	SSE- ja SS1-sammutusramppien laskenta	31
6.3.12	Turvafunktiovalitsin: SS1-turvafunktio	32
6.3.13	Turvafunktiovalitsin: SLS1-turvafunktio	33
6.3.14	Turvafunktiovalitsin: SLS2-turvafunktio	33
6.3.15	Turvafunktiovalitsin: SMS-turvafunktio	34
6.3.16	Esitysgrafiikan piirto	34
6.3.17	Esitysgrafiikan tyhjennys	35
6.4	Ohjelman sammutus	35
7	Yhteenveto	36
8	Lähteet	37

1 Johdanto

ABB Drives on ABB-konserniin kuuluva yksikkö, joka valmistaa taajuusmuuttajia muun muassa Helsingin Pitäjänmäellä. ABB Drivesin taajuusmuuttajatuotannon historia alkoi 70-luvulta, jolloin Strömberg alkoi kehittää tehoelektroniikalla toteutettuja taajuusmuuttajia oikosulkumoottorien ohjaukseen.

Kehitys jatkui 1980-luvulla Kymi-Stömberg nimellä, kunnes vuonna 1986 Strömberg siirtyi ruotsalaiselle Asea-konsernille. Asea taas fuusioitui vuonna 1988 sveitsiläiseen Brow Boverin kanssa, mistä ABB-konserni sai alkunsa. Taajuusmuuttajia on kehitetty ja valmistettu Pitäjänmäellä koko tämän ajan, ja nykyisin on saatavilla erittäin laaja valikoima erilaisia taajuusmuuttajia mitä erilaisimpiin tarkoituksiin. [1.]

Taajuusmuuttaja mahdollistaa oikosulkumoottorin kierrosluvun säätämisen, koska se nimensä mukaisesti muuttaa moottorille syötettävän vaihtovirran taajuutta. Näin oikosulkumoottoria voidaan käyttää hyvin laajasti eri sovelluksissa verrattuna siihen, että moottori pyörisi vakionopeudella, kytkettynä suoraan sähköverkkoon. Myös ympäristönäkökohdat puoltavat taajuusmuuttajien käyttöä, koska moottorin teho voidaan säätää tarkasti halutuksi ja näin minimoida hukateho. Niinpä taajuusmuuttajien käyttö onkin lisääntynyt jatkuvasti ja sen myötä myös tarve niihin liittyville lisäominaisuuksille.

Pitäjänmäellä kasataan myös ACS880-01-sarjan taajuusmuuttajia, joita käytetään lähinnä pienissä ja keskisuurissa sähkökäytöissä, teholuokassa 0,55...250 kW [2]. Tämän teholuokan taajuusmuuttajia käytetään laajalti erilaisissa sähkökäytöissä ja koska moottoreita voidaan asentaa toteuttamaan myös hyvin kriittisiä tehtäviä, on myös turvallisuusnäkökohdat otettava huomioon.

Monissa tilanteissa olisi myös hyvä, että turvatoimintoja voitaisiin määritellä älykkäästi, niin ettei ainoa turvatoiminto ole koko käytön sammuttaminen vaaratilanteessa. Lisäksi aktiivisilla turvatoiminnoilla voidaan muutenkin parantaa käytön turvallisuutta, esimerkiksi rajoittamalla kierroslukua halutuissa tilanteissa, tai esimerkiksi niin, että moottori saadaan pysäytettyä aktiivisesti ohjaten nopeammin, kuin se pelkällä sähkönsyötön katkaisulla pysähtyisi.

Näihin tarpeisiin ACS880-01-taajuusmuuttajasarjaan on nyt suunniteltu turvamoduuli, jolla taajuusmuuttajaan saadaan integroitua erilaisia turvatoimintoja. Koska aikaisemmin tässä taajuusmuuttajakokoluokassa ei ABB:llä ole vastaavaa moduulia ollut saatavilla, on moduulin markkinointiin päätetty panostaa kehittämällä laitteisto, jolla sen ominaisuuksia voidaan esitellä esimerkiksi messuilla ja muissa myyntitilanteissa.

2 Taajuusmuuttajan turvamoduuli

Kuvassa 1 näkyvä FSO-11-turvamoduuli on kehitetty ABB:n taajuusmuuttajien turva-automaatiotoimintoja älykkäästi toteuttavaksi lisämoduuliksi. Se kytketään taajuusmuuttajan lisämoduulipaikkaan, jonka kautta se voi kontrolloida laitteen toimintaa laitteen sisäisen väylän kautta. Moduuli voidaan esimerkiksi kytkeä joko suorittamaan yksittäisen käytön turvafunktioita tai osaksi suurempaa turva-automaatiojärjestelmää.

Turvamoduulin kautta kytketään myös taajuusmuuttajan hilaohjaimien käyttöjännite, joten se voi sammuttaa moottorin, vaikka taajuusmuuttajan ohjaus ei väylän kautta toimisi. Näin voi käydä esimerkiksi taajuusmuuttajan sisäisen ohjelmiston "kaatumisen" vuoksi. Tällöin turvamoduulin toiminta on kriittisimmiltä toiminnoiltaan riippumatonta taajuusmuuttajan ohjelmiston toiminnasta.



Kuva 1: FSO-11-turvamoduuli [4, s. 1]

2.1.1 Turvamoduulin elektronikka

FSO-11-turvamoduulin elektronikka on suunniteltu siten että se täyttää SIL3 tason turvalaiteluokituksen. Tämä on toteutettu mm. kahdentamalla ohjauslogiikka ja kahdella erityyppisellä prosessorilla. Tällöin toisen prosessorin vikatoiminto ei vielä estä moduulin toimintaa tai saa sitä toimimaan väärin.

2.1.2 Turvamoduulin liitynnät

Turvamoduulista löytyvät seuraavat liitynnät:

- 8 kpl digitaalituloja
- 6 kpl digitaali lähtöjä
- 2 kpl testipulssilähtöjä
- 4 kpl GND-pisteitä
- 4-napainen liityntä taajuusmuuttajan STO-liittimeen
- 24 VDC:n käyttöjännite.

Moduulin digitaalisiin tuloihin ja lähtöihin voidaan kytkeä erilaisia turvalaitteita tai järjestelmiä. Niiden vaikutus turvafunktioihin voidaan määrittää taajuusmuuttajan ohjauspaneelin hallintavalikoista tai Windows-hallintaohjelmiston kautta.

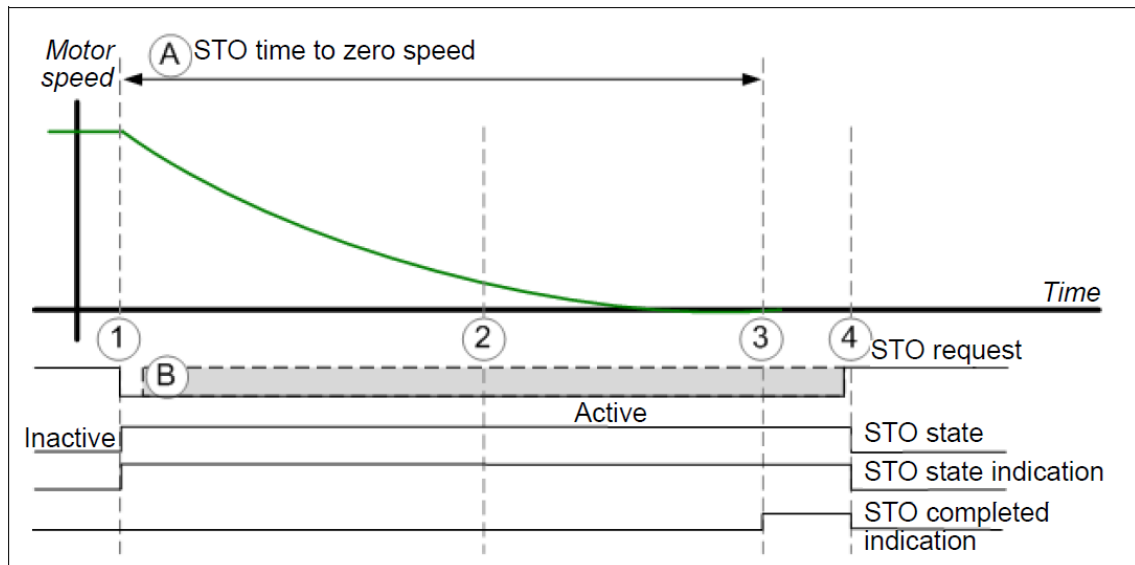
Asetukset verifioidaan ennen tallennusta ja vasta sen jälkeen ne tallennetaan turvamoduulin muistiin. Muistiin kirjoitus on salasanasuojattu, millä estetään asiattomien henkilöiden mahdollisuus muuttaa asetuksia. Koska asetukset sijaitsevat turvamoduulin omassa muistissa, ei esimerkiksi taajuusmuuttajan ohjelmiston virhetoiminta tai muistin vikaantuminen vaikuta niihin.

2.2 Moduulin turvafunktiot

FSO-11-turvamoduuli pystyy suorittamaan monia erilaisia turvafunktioita, ja moduulin asetuksista voidaan määrittää aina haluttu turvafunktio haluttuun turvamoduulin tuloon. Kun tulon tila muuttuu, tämä laukaisee turvatoiminnon, jonka turvamoduuli suorittaa. Demolaitteeseen ei nähty tarpeelliseksi tehdä toimintoa kaikille turvafunktiolle, vaan ainoastaan yleisimmin käytetyille. Nämä funktiot on esitelty seuraavissa luvuissa.

2.2.1 Safe torque off (STO)

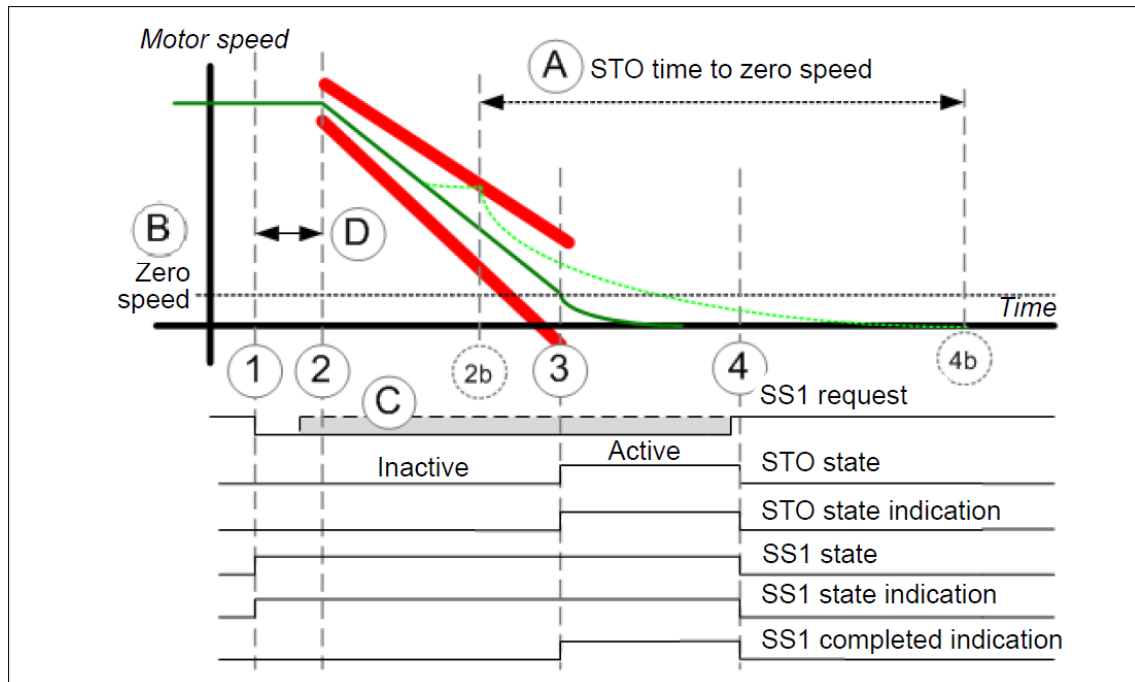
STO-turvafunktio on toiminto, joka katkaisee moottorin pyörimisen katkaisemalla taajuusmuuttajan ohjauksen moottoriin. Kuvasta 2 voidaan todeta, että toiminnon lauetessa moottori jää pyörimään vapaasti ilman ohjausta. Tämä turvatoiminto on riippumaton taajuusmuuttajan ohjelmistosta ja voidaan laukaista, vaikka väyläyhteys turvamoduulin ja taajuusmuuttajan välillä olisi katkennut. Kaikki demolaitteessa käytetyt turvafunktion menevät aina lopuksi tähän tilaan.



Kuva 2: STO-turvafunktion [3, s. 40]

2.2.2 Safe stop with ramp monitoring (SS1)

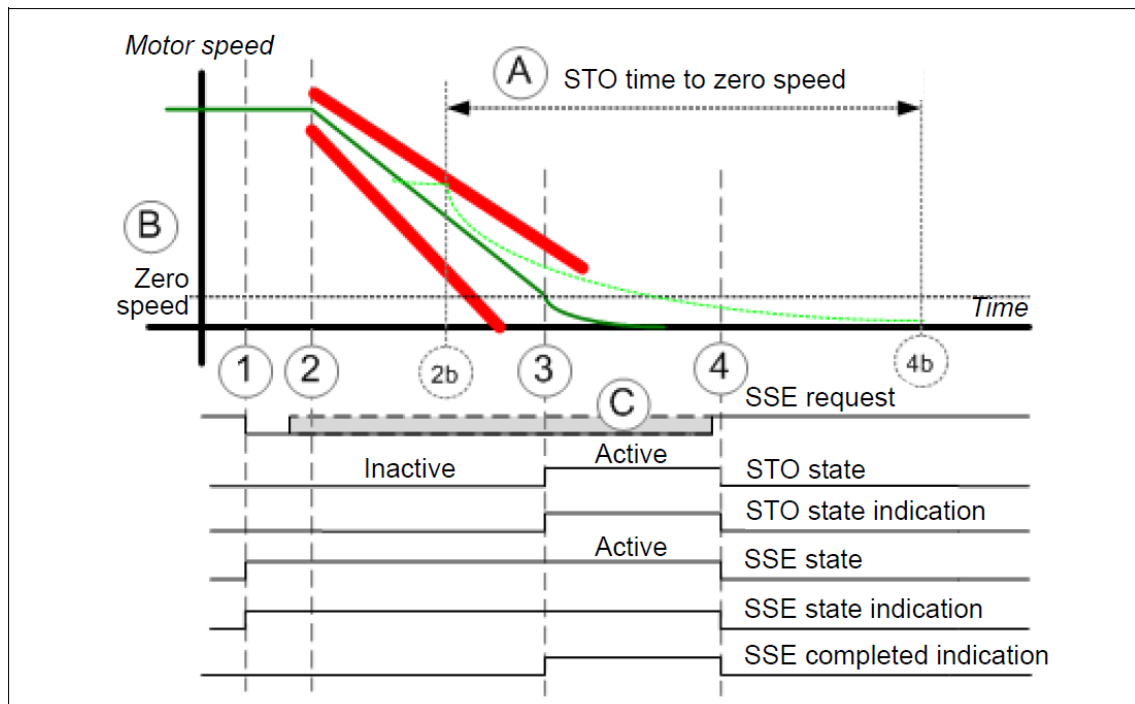
SS1-toiminto pysäyttää moottorin aktiivisesti, määritellyn pysäytys rampin mukaan. Tarvittaessa taajuusmuuttaja jarruttaa moottoria, mikäli se pyrkii pyörimään nopeammin kuin asetettu hidastus määrää. Turvamuoduli myös seuraa, että moottorin pysäytys tapahtuu määriteltujen hidastusrajojen sisällä (kuva 3). Lopuksi, kun määritelty aika on kulunut, tai haluttu pyörimisnopeuden lasku on saavutettu, ohjataan taajuusmuuttaja tilaan, jossa moottori pyörii vapaasti (STO-tila).



Kuva 3: SS1-turvafunktio ramppiseurannalla [3, s. 48]

2.2.3 Safe stop emergency with ramp monitoring (SSE)

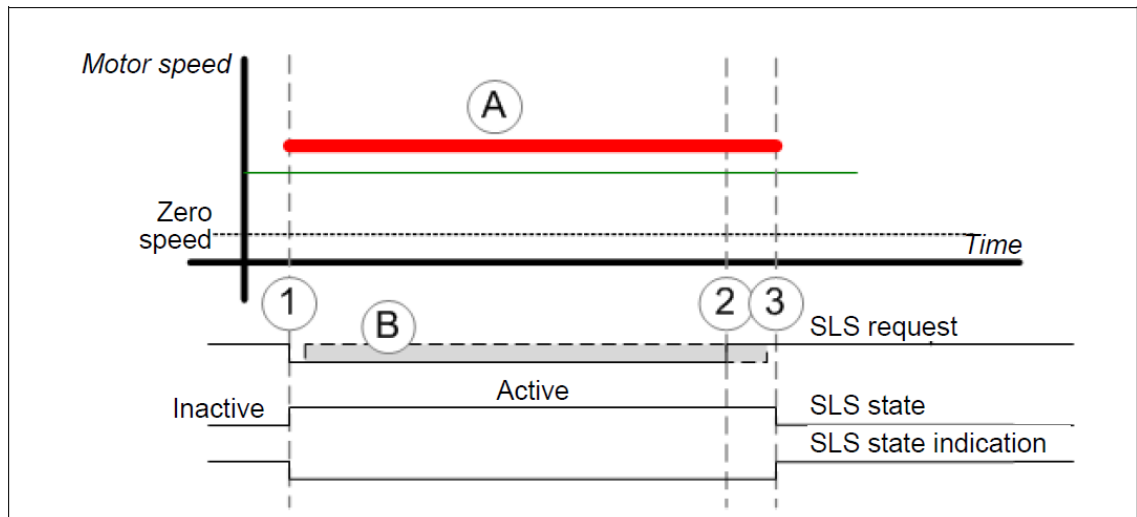
SSE-funktio toimii samaan tapaan kuin SS1, mutta koska kyseessä on hätäpysäytys, pysäytetään moottori tässä funktiossa mahdollisimman nopeasti (kuva 4).



Kuva 4: SSE-turvafunktio ramppiseurannalla [3, s. 53]

2.2.4 Safely-limited speed (SLS)

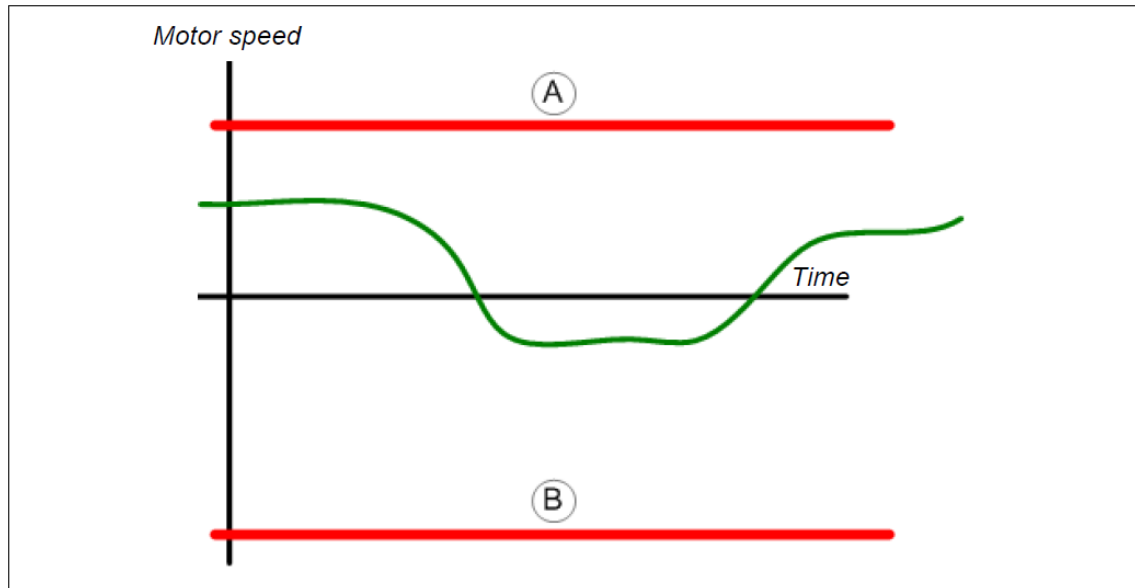
Kun SLS-funktio aktivoidaan, rajoittaa se moottorin pyörimisnopeuden ennalta aseteltuun maksimiin. Kuvassa 5 näkyvä punainen palkki kuvaa asetettua maksiminopeutta. Pyörimisnopeuden ohjaus on mahdollista asetettua rajaa alhaisemmilla nopeuksilla, mutta asetettua maksiminopeutta ei voi ylittää.



Kuva 5: SLS-turvafunktion [3, s. 55]

2.2.5 Safe maximum speed (SMS)

SMS-funktio asettaa moottorin maksimi- ja tarvittaessa myös miniminopeusrajan. Kuvassa 6 näkyvät punaiset palkit kuvaavat näitä rajoja. Tämän funktion toimintarajat asetetaan kiinteästi turvamoduuliin, joten sitä voi ohjata päälle tai pois turvamoduulin turvatuloista.



Kuva 6: SMS-turvafunktio [3, s. 57]

3 Laitteisto

3.1 Demolaitteiston käyttötarkoitus

Tämän työn tarkoituksena oli kehittää ABB Drives Oy:lle laitteisto ja ohjelmisto, jolla voidaan esitellä FSO-11-moduulin käyttömahdollisuuksia sekä toimintaa. Laitteisto suunniteltiin käyttämään jo olemassa olevaa demosalkkua, tarvittavin muutoksin.

Laitteistoa ohjaamassa olisi tarkoituksena olla Windows-tietokone, johon kehitetty ohjelmisto piirtää näytölle vastaavanlaista moottorin nopeuden funktiota, kuin oli esillä edellä olevissa turvafunktiokuvissa. Lisäksi ohjelman näyttöön olisi tarkoitus saada näkyviin turvarajoja, toimintojen ajanhetkiä ja muuta grafiikkaa, samaan tapaan kuin edellä esitetyissä kuvissa.

Käytöstä pitäisi pyrkiä tekemään mahdollisimman yksinkertaista ja vähän käyttäjän toimenpiteitä vaativaa, jolloin käyttäjä voi keskittyä itse turvamoduulin toimintaa. Myös laitteiston koon ja painon pitäisi olla sellainen, että sen kuljettaminen onnistuu helposti yhdeltä ihmiseltä. Demolaitteistoa on myös tarkoitus monistaa myöhemmässä vaiheessa myyntihenkilökunnan ja tuotekehityksen käyttöön, joten myös sen tuotannollisuusnäkökohdat pitäisi ottaa mahdollisuuksien mukaan huomioon.

3.2 Demolaitteen rakenne

Laitteisto päätettiin toteuttaa niin, että se koostuu ABB:n käyttämästä ACS880-01-demosalkusta (kuva 7), tarvittavista lisämoduuleista sekä tietokoneesta. Tietokoneen ja laitteiston välinen kommunikointi päätettiin tehdä käyttäen Modbus TCP/IP -väylää, joten myös Ethernet-moduuli päätettiin lisätä demosalkun rakenteeseen.

Turvamoduulin demolaitteistoon päätettiin valita seuraavat osat:

- ACS880-01-taajuusmuuttaja
- Oikosulkumoottori pulssianturilla ja mekaanisella jarrulla
- FEN-31-pulssianturimoduuli
- FENA-11-Ethernet-moduuli
- FIO-01-I/O-moduuli
- FSO-11-turvamoduuli
- Windows PC ja verkkokortti.

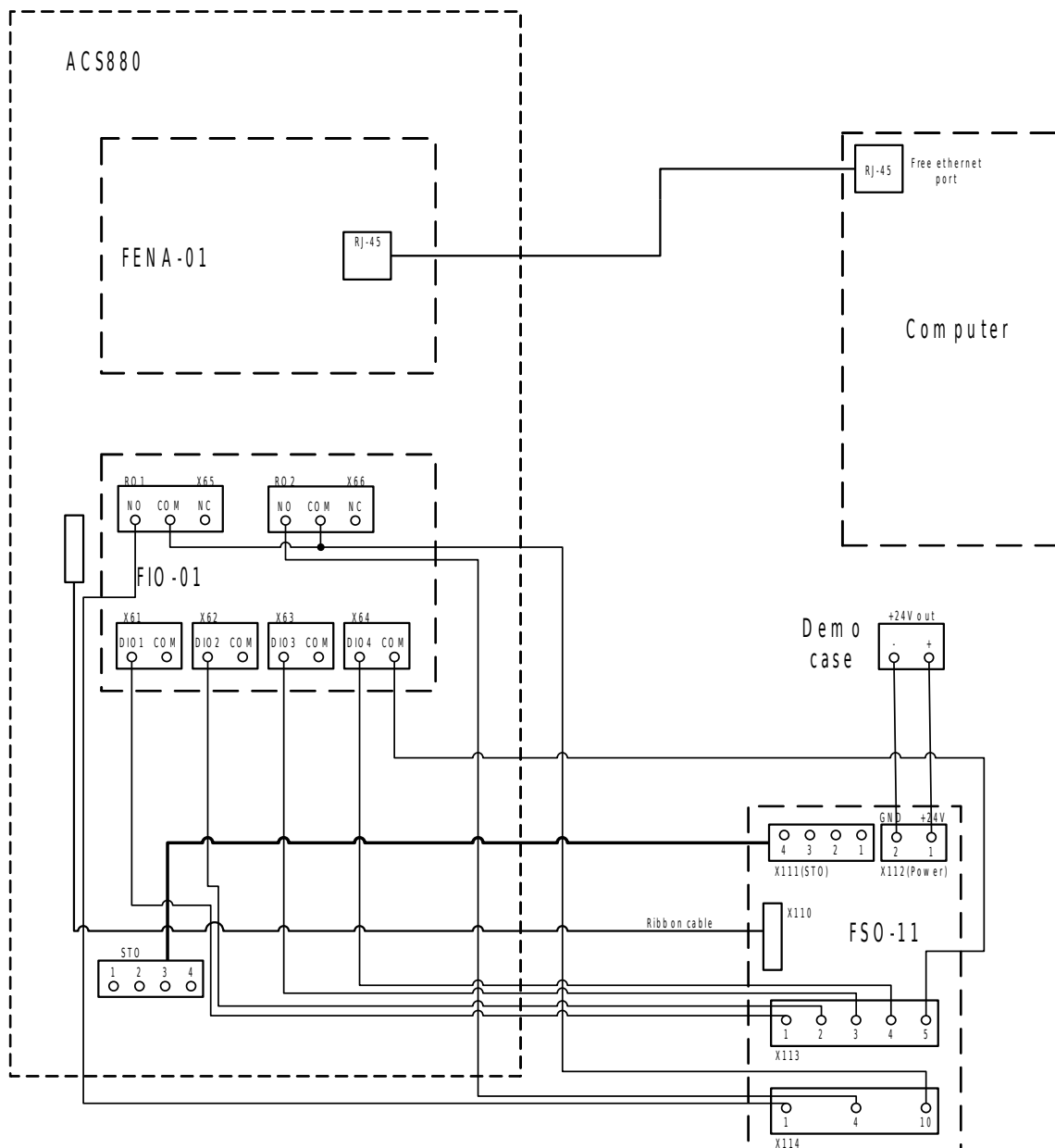


Kuva 7: ACS880-01-demosalkku vakiokokoonpanossa

Koska demosalkussa oli jo taajuusmuuttajan, moottorin ja pulssianturin tarvitsemat peruskytkennät valmiina, niitä voitiin hyödyntää sellaisenaan.

3.3 Turvamoduulin vaatimat lisäkytkennät

Koska demosalkun vakiokokoonpanossa ei kuitenkaan ole kytkettynä I/O- tai turvamoduulia, jouduttiin suunnittelemaan niiden vaatimat lisäkytkennät. Kytkennät tehtiin niin, että FIO-01-moduulilla voidaan ohjata turvamoduulin turvatuloja. Lisäksi tarvittiin Ethernet-liityntä PC:lle, sekä käyttöjännite FSO-11-moduulille. Kuvassa 8 on kaavio demosalkkuun tehdyistä lisäkytkennöistä.



Kuva 8: Lisäytkennät demosalkkuun

4 Ohjelmisto

4.1 Yleistä

Ohjelmiston tarkoituksena on ohjata demolaitteen toimintaan ja toimia sen käyttöliittymänä. Ohjelmisto esittää reaaliaikaista informaatiota laitteen tilasta ja toiminnasta sekä toteuttaa käyttäjän antamia ohjauksia.

Ohjelmistolla voidaan demonstroida edellä esiteltyjä turvafunktioita, jolloin näytölle piirtyy reaaliaikaisesti moottorin pyörintänopeus ja turvafunktioiden aktivoitumisen vaikutus siihen. Lisäksi näytöllä näkyy, funktiosta riippuen, myös muuta informaatiota, kuten määritetyt moottorin nopeuden turvarajat, sammutuksen valvonnan rajat ja muuta toimintaan liittyvää grafiikkaa.

Ohjelmisto on tehty LabView-kehitysympäristöllä, johon on lisäksi asennettu Modbus-lisäkirjasto.

4.2 Vaatimukset

Ohjelmisto vaatii vähintään Windows 7 -käyttöjärjestelmän. Näytön ja työpöydän resoluution tulisi olla vähintään 1920x1080 pikseliä (Full HD), jolloin käyttöliittymä piirtyy oikein ja mahtuu kokonaan ruutuun. Tämän lisäksi tarvitaan yksi vapaa Ethernet-portti Modbus TCP/IP -liityntää varten.

4.3 Ohjelman asennus

Ohjelman asennus ja käyttö on pyritty tekemään mahdollisimman yksinkertaiseksi, mutta käyttäjän olisi hyvä hallita perusteet Windows-käyttöjärjestelmästä ja sen verkkoasetuksista.

Ennen kuin ohjelmaa voidaan käyttää, pitää taajuusmuuttajan parametrit asettaa oikeisiin arvoihin. Tämä voidaan tehdä joko suoraan taajuusmuuttajan ohjauspaneelilta, tai vaihtoehtoisesti Drive Composer -ohjelman avulla. Ohjelmaa käytettäessä tarvitaan myös sopiva kaapeli tietokoneen USB-väylän ja taajuusmuuttajan väliin. Taulukossa 1 on listattu asetettavat parametrit ja niiden arvot.

Taulukko 1: Taajuusmuuttajan parametrit

Parameter	Value
14.1 Module 1 type	FIO-01
14.2 Module 1 location	Slot 2
14.9 DIO1 configuration	Output
14.14 DIO2 configuration	Output
14.19 DIO3 configuration	Output
14.24 DIO4 configuration	Output
20.1 Ext1 commands	Fieldbus A

Parameter	Value
22.11 Speed ref1 selection	FB A ref1
23.12 Acceleration time 1	1,000
23.13 Deceleration time 1	1,000
31.22 STO indication run/stop	Event/Event
50.1 FBA A enable	Enable
51.1 FBA type	Ethernet
51.2 Protocol/Profile	MB/TCP ABB E
51.5 IP address 1	192
51.6 IP address 2	168
51.8 IP address 4	2
51.9 Subnet CIDR	24
52.1 FBA data in1	1.4[16]
52.2 FBA data in2	200.245[16]
52.3 FBA data in3	200.94[32]
52.5 FBA data in5	200.103[32]
52.7 FBA data in7	200.106[32]
53.1 FBA data out1	14.11[32]
53.3 FBA data out3	14.16[32]
53.5 FBA data out5	14.21[32]
53.7 FBA data out7	14.26[32]
53.9 FBA data out9	14.34[32]
53.11 FBA data out11	14.37[32]
91.11 Module 1 type	FEN-31
91.12 Module 1 location	Slot 3
92.1 Encoder 1 type	HTL
92.10 Pulses/rev	1024
92.14 Speed estimation	Enable
99.6 Motor nominal current	1,2
99.7 Motor nominal voltage	230,0
99.8 Motor nominal frequency	50,0
99.9 Motor nominal speed	1350
99.10 Motor nominal power	0,18
99.11 Motor nominal cosφ	0,73
200.6 STO input A	DI X113:1
200.24 SSE time to zero speed with STO	1000
200.25 SSE input A	DI X113:2
200.27 SSE function	Emergency ramp
200.35 SS1 input A	DI X113:3
200.60 SLS1 input A	DI X113:4

Parameter	Value
200.62 SLS2 input	DI X114:1
200.92 SMS function	Active
200.94 SMS limit positive	1450,0
200.103 SAR0 ramp time to zero	5000
200.106 SAR1 ramp time to zero	20000
200.162 Acknowledge button input	DI X114:4

Ohjelman käyttö vaatii Ethernet-yhteyden tietokoneen ja taajuusmuuttajan välille. Taajuusmuuttajan IP-osoite on asetettu taulukon 1 parametreilla 51.5 - 51.9 kiinteästi osoitteeseen 192.168.0.2, jonka aliverkon peite on 255.255.255.0. Tietokoneella tulee olla mahdollisuus saada yhteys tähän osoitteeseen. Monesti helpoin tapa onkin, että tietokoneen ja taajuusmuuttajan välille tehdään oma verkko. Käytännössä tähän riittää Ethernet-kaapeli laitteiden välille. Lisäksi tietokoneen verkko-osoite ja aliverkon peite pitää määrittää sellaiseksi, että yhteys on mahdollinen, esimerkiksi 192.168.0.1 / 255.255.255.0.

5 Ohjelmiston käyttö

5.1 Ohjelmiston käyttöliittymä

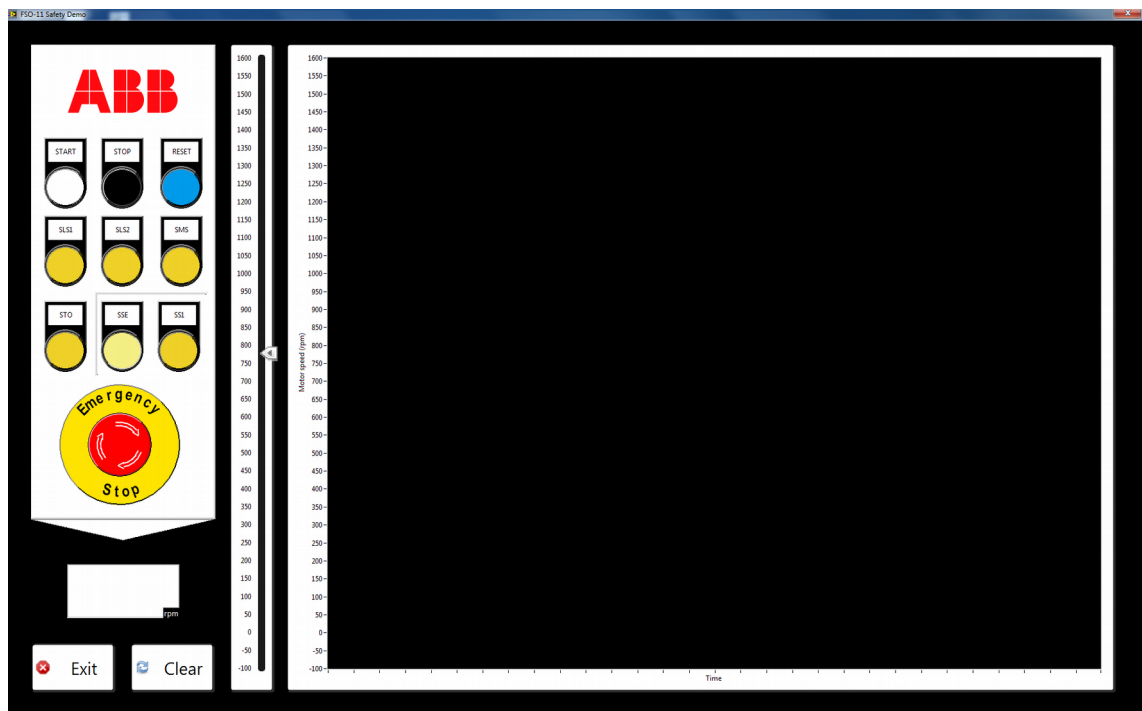
Kun ohjelmisto on asennettu, vaaditut parametrit asetettu taajuusmuuttajaan ja verkkoyhteys laitteiden välillä toimii, demolaite on valmis käyttöön. Kun ohjelma käynnistetään, avautuu kuvan 9 mukainen käyttöliittymä.

Käyttöliittymästä voidaan ohjata moottori päälle tai pois, säätää moottorin pyörimisnopeutta ja laukaista turvafunktioita. Lisäksi käyttöliittymän näyttöön piirtyy moottorin pyörimisnopeutta esittävä kuvaaja, sekä turvafunktioita ja niiden toimintaa esittävät grafiikat.

Käyttöliittymän painikkeet ja ohjaimet toteuttavat seuraavat toiminnot:

- Start-painike käynnistää moottorin
- Stop-painike pysäyttää moottorin
- Reset-painike taajuusmuuttajan palauttamiseksi alkutilaan

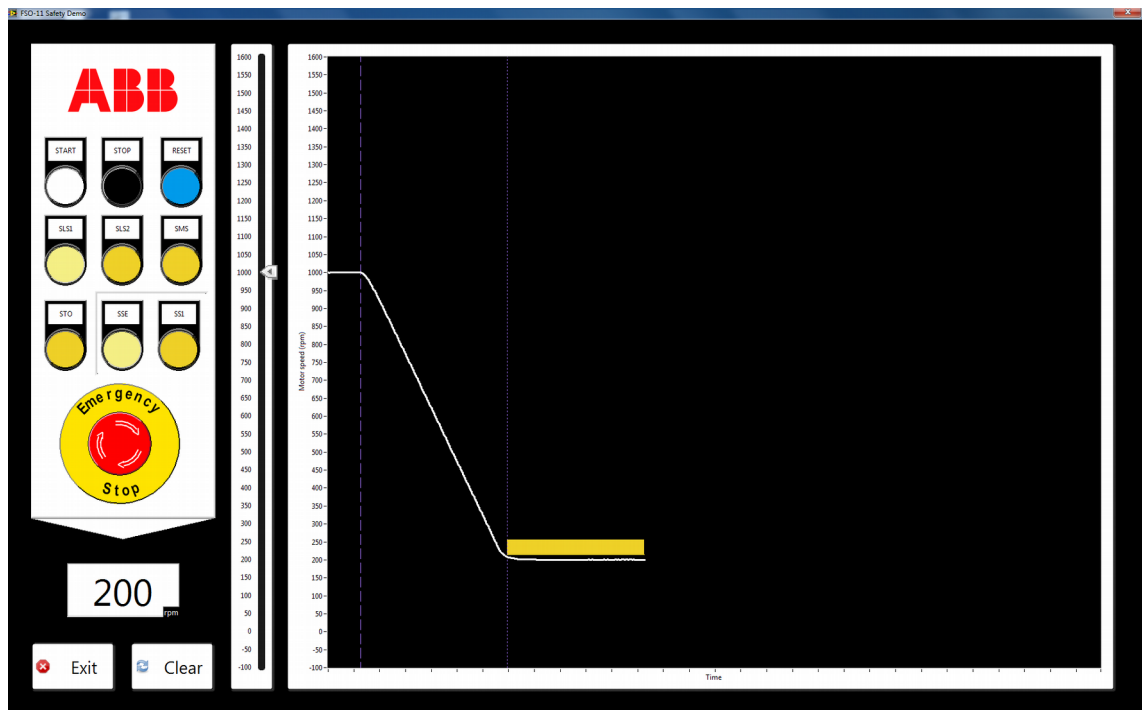
- SLS1-turvafunktion aktivointi
- SLS2-turvafunktion aktivointi
- SSE-turvafunktion aktivointi
- SS1-turvafunktion aktivointi
- STO-turvafunktion aktivointi
- Emergency Stop -painiketta käytetään SSE- ja SS1-funktioiden laukaisussa.



Kuva 9: Ohjelmiston käyttöliittymä

5.2 SLS-turvafunktion toiminta

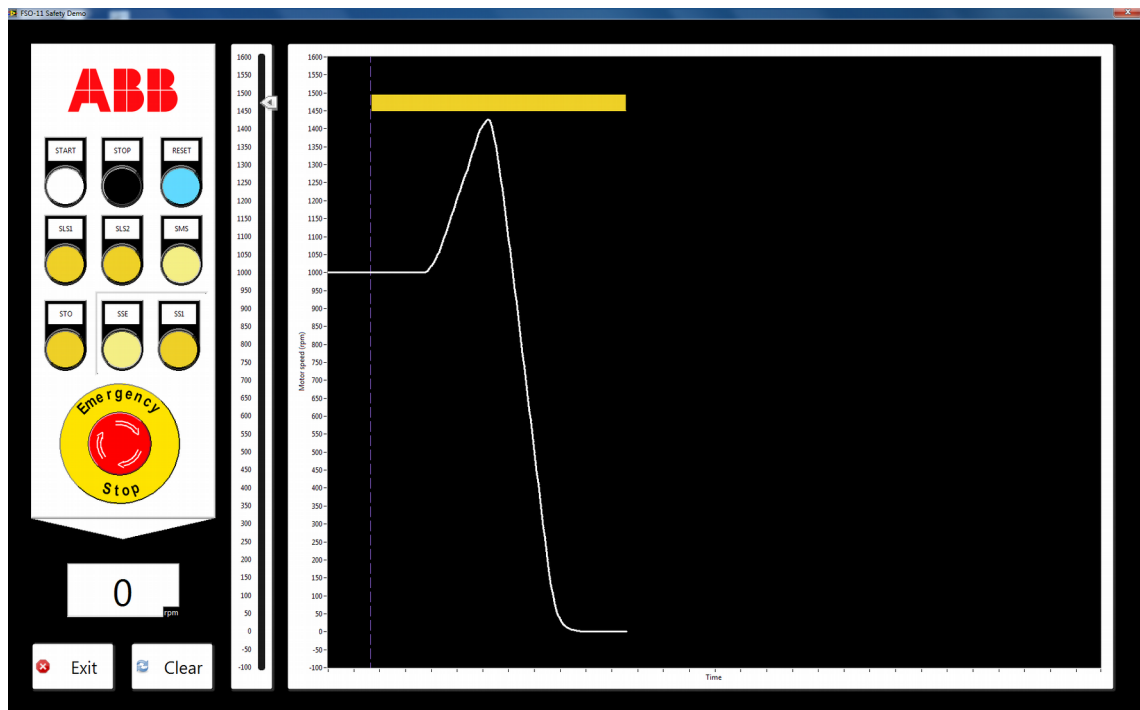
SLS-turvafunktio rajoittaa moottorin nopeuden joko arvoon 200 kierrosta minuutissa (SLS1) tai arvoon 400 kierrosta minuutissa (SLS2). Kun toiminto aktivoidaan painikkeesta, jarrutetaan moottori nopeus em. kierrosluvulle, jonka jälkeen näyttöön piirretään palkkia, joka kuvaa rajoitettua nopeutta (kuva 10). Tällöin moottoria ei saa ohjattua suuremmalle kierrosluvulle, mutta rajan alapuolella kierrosluvun muuttaminen on mahdollista ohjelman nopeussäätimestä.



Kuva 10: SLS-funktio aktiivisena ohjelman käyttöliittymässä

5.3 SMS-turvafunktion toiminta

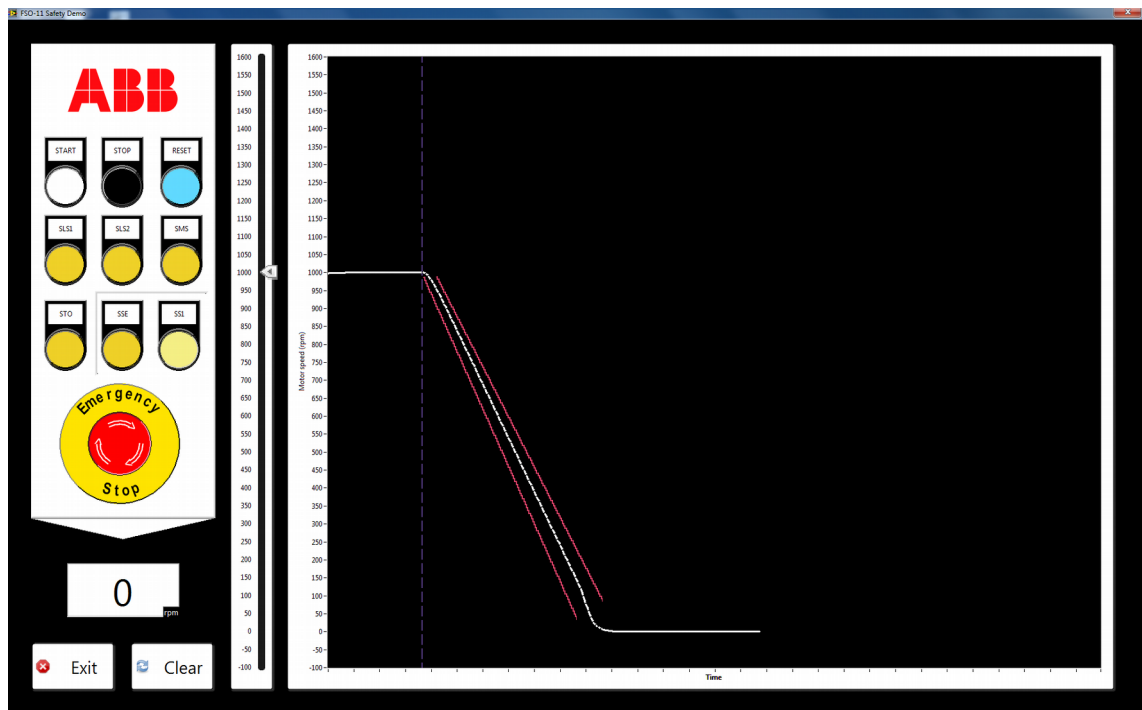
Myös SMS-turvafunktio rajoittaa moottorin suurinta pyörimisnopeutta. Tässä ei kuitenkaan sallita moottorin ohjaamista turvarajaa vasten, vaan rajan ylittyessä pysäytetään moottori STO-funktiolla (kuva 11). Myös tässä funktiossa on käytössä keltainen palkki kuvaamassa turvarajaa.



Kuva 11: SMS-funktio aktiivisena ohjelman käyttöliittymässä

5.4 SS1-turvafunktion toiminta

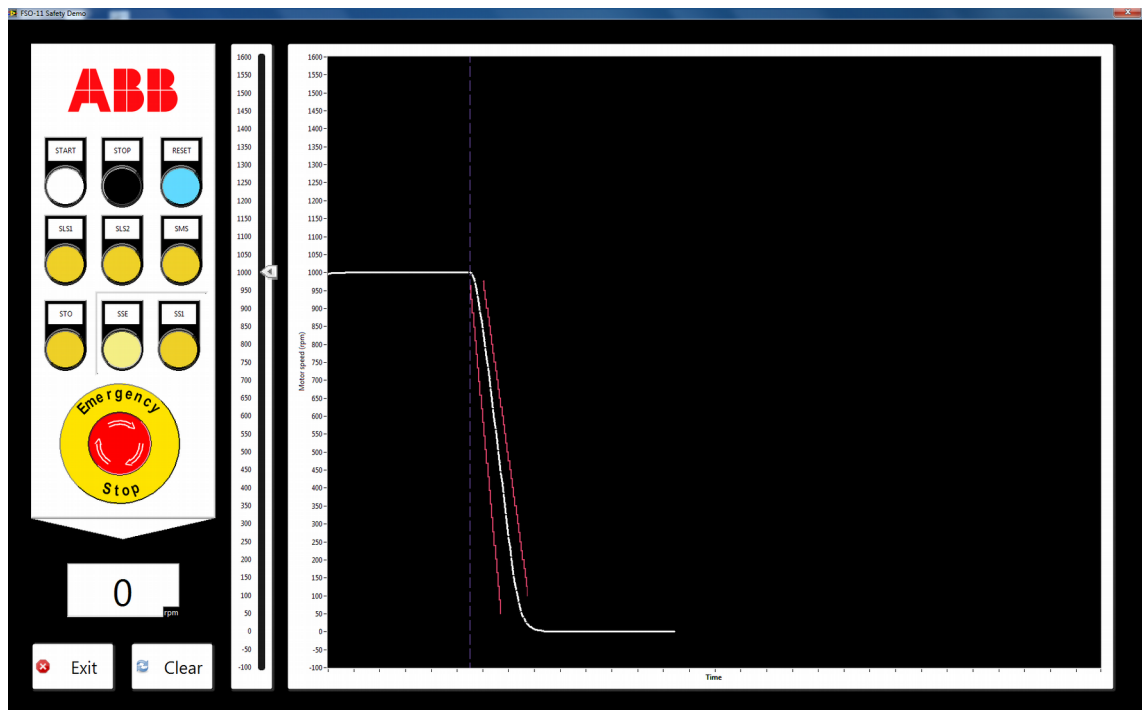
SS1-turvafunktio toteuttaa moottorin pysäytyksen ramppiseurannalla, eli moottori nopeuden hidastumisen täytyy pysyä määriteltujen ramppien välissä. Kun funktio laukaistaan, piirtyvät rampit myös ohjelman näyttöön (kuva 12). Tämän funktion toiminta poikkeaa aiemmista siten että se aktivoidaan ensin painamalla SS1-painiketta, mutta varsinainen laukaisu tapahtuu Emergency Stop -painikkeella. Kun moottori on pysähtynyt, ohjataan se vielä lopuksi STO-tilaan, eli pyörimään vapaasti.



Kuva 12: SS1-turvafunktion ja sammutusrampit

5.5 SSE-turvafunktion toiminta

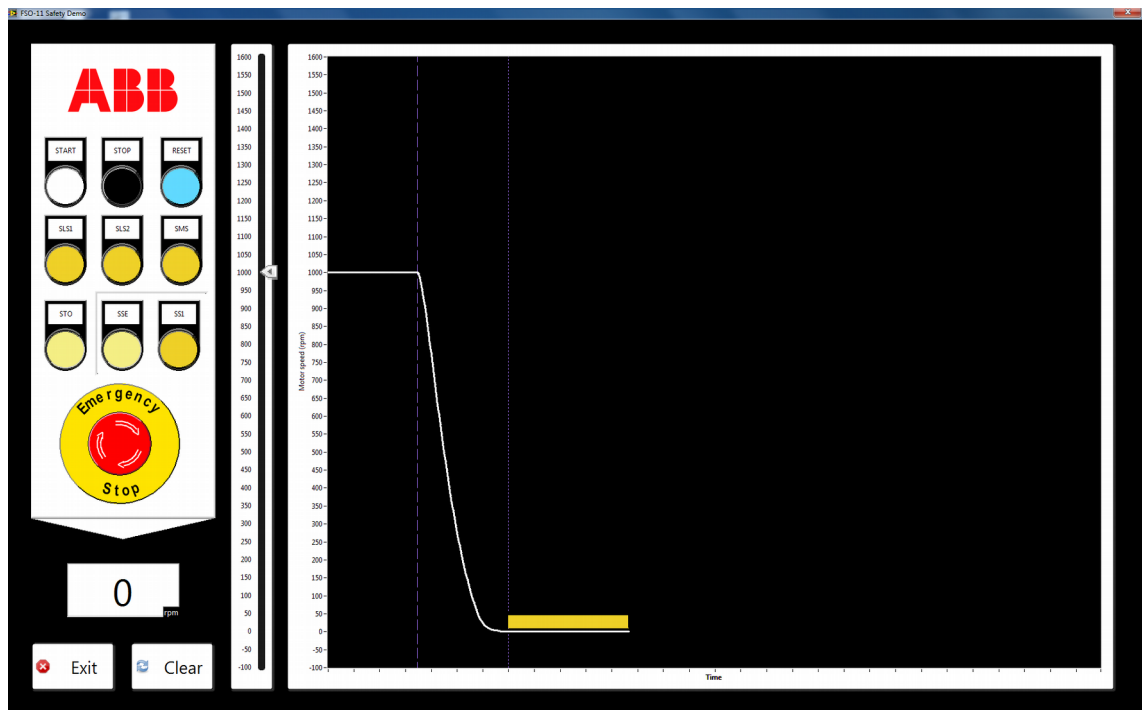
SSE-turvafunktion toiminta on käytännössä sama kuin aiemman SS1-funktion, mutta koska kyseessä on hätäpysäytys, ohjataan moottori sammumaan nopeammin (kuva 13). Myös tämä funktio aktivoidaan ensin painamalla SSE-painiketta, mutta varsinainen toiminto tapahtuu vasta Emergency Stop -painikkeesta.



Kuva 13: SSE-hätäpysäytys

5.6 STO-turvafunktion toiminta

Viimeisenä turvafunktiona on STO-toiminto, joka aktivoituessaan katkaisee moottorin ohjauksen. Näin moottori jää pyörimään vapaasti, eikä sitä pyritä aktiivisesti pysäyttämään. Kuvassa 14 näkyvä keltainen palkki piirtyy näytölle nopeuskäyrän yläpuolelle, kun moottori on pysähtynyt.



Kuva 14: STO-turvafunktion toiminta

6 Ohjelmiston toiminta

6.1 Taajuusmuuttujan ohjaus

Tiedon välittämiseen ohjelmiston ja taajuusmuuttajan välillä valittiin ABB:n Enhanced-protokolla. Tässä protokollassa päätetään edeltä käsin, mitä taajuusmuuttajan parametreja halutaan lukea tai kirjoittaa. Nämä parametrit määritellään Modbus TCP/IP -yhteyden avulla luettaviin tai kirjoitettaviin rekistereihin.

Edellä mainitut parametrimäärytykset on listattu taulukossa 1 olevassa parametrityökalussa. ABB Enhanced -parametreja määrittelevät taulukon rivit 52.1 - 53.11. Listassa olevat *Data out* -rekisterit määrittelevät, mitä taajuusmuuttajan parametreja paketin datakentät ohjaavat ja lopussa olevat *Data in* -parametrit taas, mitä parametrien arvoja välitetään taajuusmuuttajalta demolaitteistoa ohjaavalle tietokoneelle.

Näiden lisäksi paketti sisältää *Control*- ja *Status*-rekisterien tilat, sekä kaksi asetus- ja oloarvorekisteriä. Mitä asetus- ja oloarvorekistereissä näkyy, voidaan taas määrittellä muualla taajuusmuuttajan parametreissa. Esimerkiksi tässä tapauksessa

ensimmäisessä asetusarvorekisterissä oleva *ref1* määrittää halutun moottorin pyörintänopeuden. Tämä on määritelty parametritaulukon 1 kohdassa *22.11 Speed ref1 selection*. Asetusarvo on tässä määritelty haettavaksi paikasta *FB A ref1*, eli nopeusreferenssiksi haetaan *Fiel Bus A:n reference1*-paikassa oleva data.

Oloarvorekistereissä voidaan lukea esimerkiksi taajuusmuuttajan arvioimaa moottorin pyörintänopeuden arvoa tai muuta vastaavaa tietoa. Tässä sovelluksessa käytetään kuitenkin pulssianturilta saatavaa tarkempaa nopeustietoa, joka on luettavissa ABB Enhanced paketin *DATA IN 1* -osassa.

Modbus rekisterit ovat 16-bittisiä, joten jos välitettävä tieto tarvitsee enemmän bittejä, käytetään siihen kahta perättäistä rekisteriä. Eli jos tarvitaan vaikka 32 bittiä, käytetään sekä määritellyn osoitteen että myös sitä seuraavan rekisterin bitit.

Taulukossa 2 on kuvattu tässä työssä käytetyn ABB Enhanced -paketti. Parametrikuvauksen lopussa hakasuluissa oleva luku kertoo parametrin tarvitseman bittimäärän.

Taulukko 2: Demolaitteistossa käytettävä ABB Enhanced Modbus TCP/IP -paketti

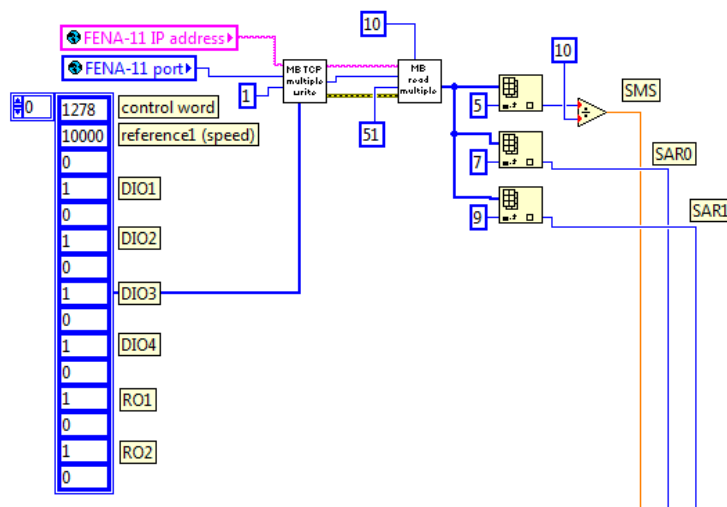
Register address	Register data(16 bit)	Parameter / Info
00001	Control word	Drive control, motor start and stop etc.
00002	Reference 1	Motor speed reference
00003	Reference 2	
00004	DATA OUT 1	14.11 DIO1 output source[32]
00005	DATA OUT 2	
00006	DATA OUT 3	14.16 DIO2 output source[32]
00007	DATA OUT 4	
00008	DATA OUT 5	14.21 DIO3 output source[32]
00009	DATA OUT 6	
00010	DATA OUT 7	14.26 DIO4 output source[32]
00011	DATA OUT 8	
00012	DATA OUT 9	14.34 RO1 source[32]
00013	DATA OUT 10	
00014	DATA OUT 11	14.37 RO2 source[32]
00015	DATA OUT 12	
00051	Status word	Drive status
00052	Actual 1	

Register address	Register data(16 bit)	Parameter / Info
00053	Actual 2	
00054	DATA IN 1	1.4 Encoder 1 speed filtered[16]
00055	DATA IN 2	200.245 FSO module status word[16]
00056	DATA IN 3	200.94 SMS limit positive[32]
00057	DATA IN 4	
00058	DATA IN 5	200.103 SAR0 ramp time to zero[32]
00059	DATA IN 6	
00060	DATA IN 7	200.106 SAR1 ramp time to zero[32]
00061	DATA IN 8	
00062	DATA IN 9	
00063	DATA IN 10	
00064	DATA IN 11	
00065	DATA IN 12	

6.2 Taajuusmuuttajan alustaminen

Ohjelman suoritus alkaa taajuusmuuttajan alustamisella sekä parametrien lukemisella turvamoduulilta.

Taajuusmuuttajan alustetaan kirjoittamalla ABB Enhanced -rekisterit, jolla sen I/O-liittynnät alustetaan haluttuun alkutilaan, määritellään nopeusreferenssi sekä annetaan ohjaussana. Kun nämä alustukset on tehty, on taajuusmuuttaja sellaisessa tilassa, että demo-ohjelmiston ajaminen on mahdollista.

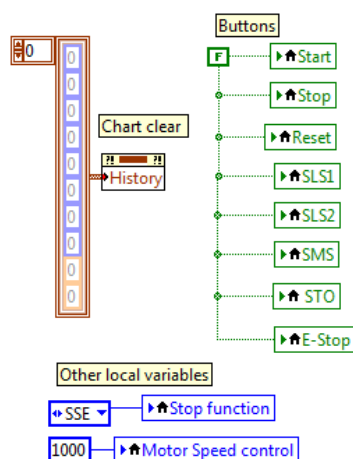


Kuva 15: Taajuusmuuttajan parametrien kirjoitus ja luku

Kuvassa 15 nähdään taajuusmuuttajan alustukset LabView-kaaviona. Alustus tapahtuu taulukossa 2 esitetyn ABB Enhanced -paketin mukaisesti, lähettämällä *Control Word(1278)*, nopeusreferenssi *ref1(10000)*, sekä ohjaamalla DIO- ja RO-lähdöt tilaan 1 (pois päältä). Vaikka nopeusreferenssi on annettu, ei moottori vielä lähde pyörimään, koska *Control Word start* -bitti on asetettu arvoon 0. Kuvassa näkyy myös globaalit muuttuja *FENA-11 IP address* ja *FENA-11 port*. Näillä muuttujilla määritellään taajuusmuuttajan IP-osoite ja portti.

Seuraavaksi turvamuodulin muistista luetaan SMS-, SAR0- ja SAR1-parametrit. Nämä parametrit on turvallisuusyistä mahdollista määrittää vain Windows-hallintaohjelmiston tai ohjauspaneelin kautta. Koska demo-ohjelmisto kuitenkin käyttää näitä parametreja, on ne tarkoituksen mukaista lukea heti ohjelman käynnistyksen yhteydessä. Käytännössä luku tapahtuu lukemalla taajuusmuuttajalta ABB Enhanced -paketissa määritellyt rekisterit (taulukko 2), josta erotellaan parametrien SMS-, SAR0- ja SAR1-arvot myöhempää käyttöä varten.

SMS-parametri määrittelee moottorin absoluuttisen maksimipyörintänopeuden ja sitä ei voi ohittaa millään muulla ohjauksella. SAR0- ja SAR1-parametrit taas määrittävät SSE- ja SS1-turvafunktioissa käytettyjen moottorin sammuttamisrampin kulmakertoimen, eli miten nopeasti moottorin pitää näiden funktioiden aktivoituessa pysähtyä.



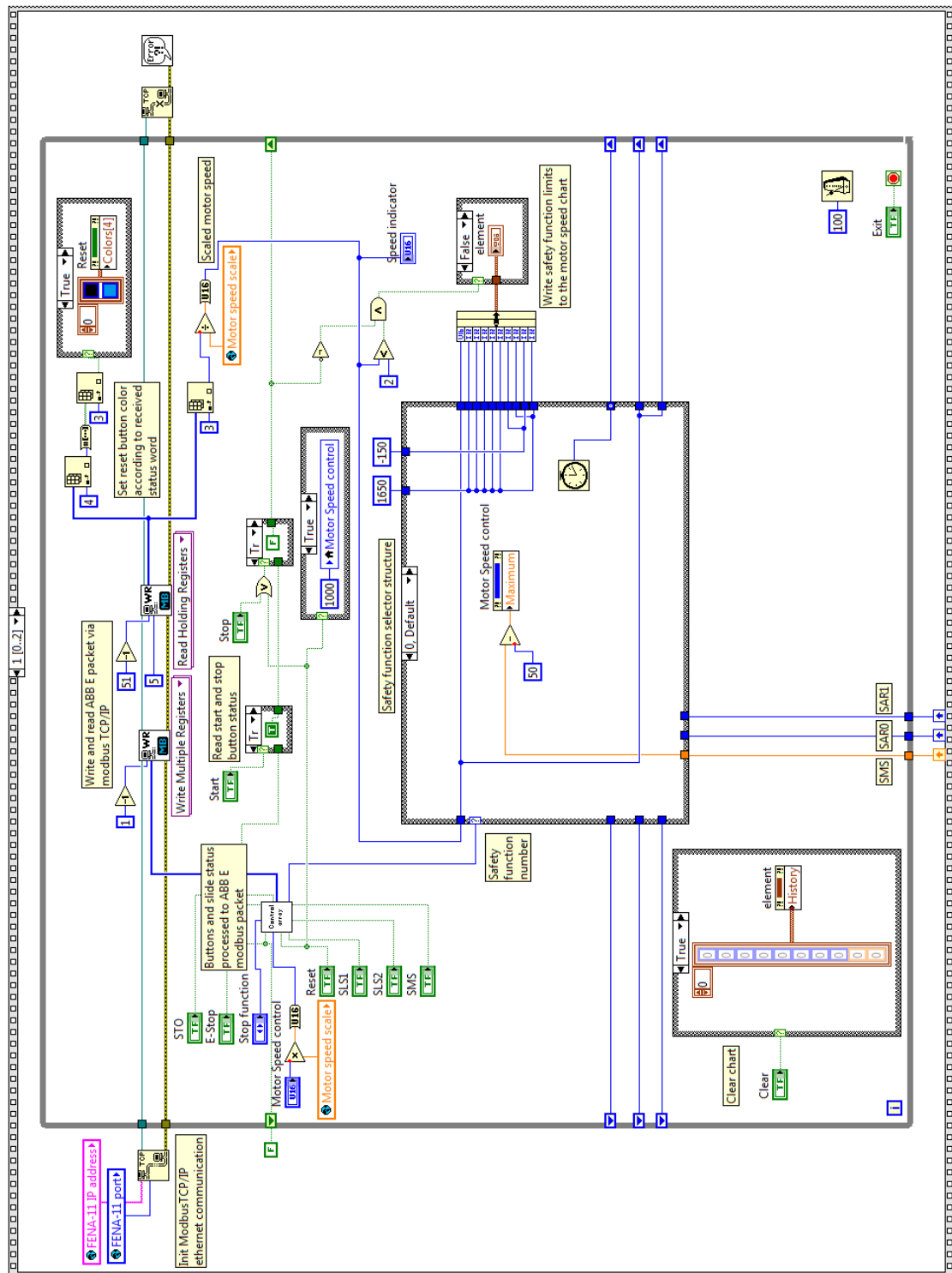
Kuva 16: Paikallisten muuttujien alustus

Parametrien kirjoitus ja luku tapahtuu Modbus TCP/IP -väylässä, käyttäen siihen tehtyjä luku- ja kirjoitusaliohjelmia. Nämä aliohjelmat käyttävät LabView'n modbus-kirjastoa ja niitä käytetään aina, kun on tarve välittää tietoa Modbus TCP/IP -väylässä.

Kuvan 16 kaaviossa tehdään grafiikkanäytön tyhjennys, ohjataan ohjelmassa olevat painikkeet aloitustilaan, määritellään pysäytysfunktioiksi SSE ja moottorin alkunopeudeksi 1000 kierrosta minuutissa.

6.3 Pääsilmutta

Seuraavaksi ohjelman suoritus siirtyy pääsilmuttaan (kuva 17), jossa se pyörii kunnes se keskeytetään Exit-painikkeesta. Pääsilmutta kirjoittaa ja lukee ABB Enhanced -rekisterit Modbus TCP/IP -väylän kautta ja ohjaa käyttöliittymän objekteja sen mukaan.



Kuva 17: Yleiskuva pääsilukusta

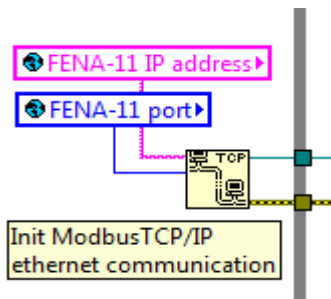
Pääsil mukassa tehdään seuraavat operaatiot:

- Luetaan käyttöliittymän painikkeiden ja säätimien tilat
- muodostetaan näistä kirjoitettavat ABB Enhanced -rekisterien arvot
- ohjataan tarvittaessa haluttu turvatoiminto ja sen esitysgrafiikka päälle
- luetaan ABB Enhanced -rekisteristä moottorin nopeustieto, joka tulostetaan näytölle.

Seuraavissa luvuissa on selostettu pääsil mukun toiminnot eritellysti.

6.3.1 Ethernet-liikenteen alustus

Modbus TCP/IP -liikenne alustetaan kulkemaan Ethernet-verkossa, käyttämällä LabView'n siihen tarjoamaa funktiota. Funktio lukee globaali muuttujista taajuusmuuttaja Ethernet-moduulin (FENA-01) verkko-osoitteen ja portin numeron (kuva 18).

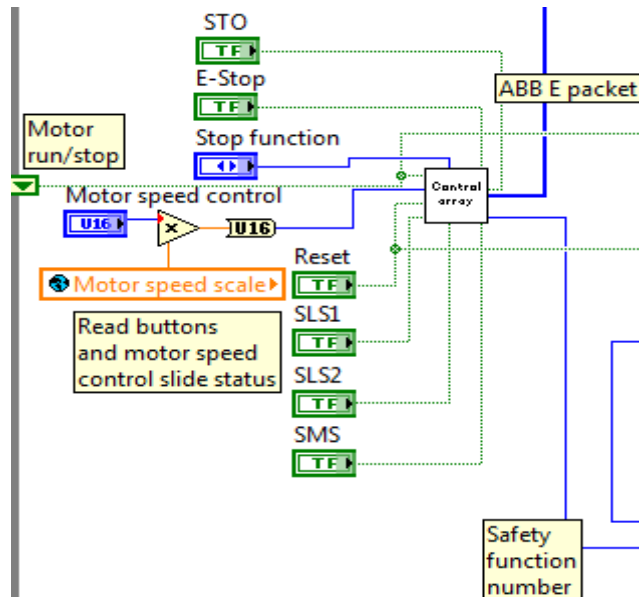


Kuva 18: TCP/IP-alustus

6.3.2 Käyttöliittymän turvafunktiopainikkeiden ja nopeussäätimen luku

Käyttöliittymästä luetaan joka kierroksella turvafunktioita ohjaavien painikkeiden ja moottorin nopeutta ohjaavan säätimen tila. Näistä tiloista koostetaan taajuusmuuttajalle kirjoitettavat ABB Enhanced -rekisterien arvot (kuva 19). Kirjoitettavat ABB Enhanced -rekisterit sisältävät moottorin nopeusohjeen, sekä parametrin, joilla FIO-01-moduuli ohjaa FENA-01-turvamoduulin turvatuloja.

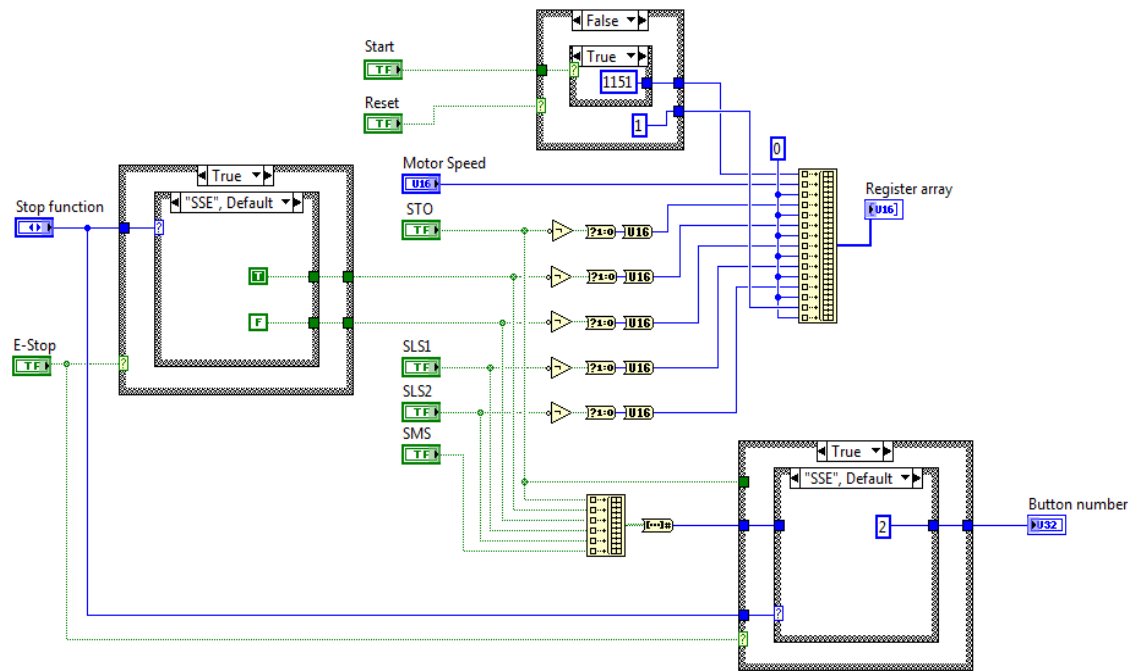
Moottorin käynnistys- tai sammutusohjausta ei lueta suoraan painikkeista, vaan se tulee pääsilman edelliseltä kierrokselta, siirtorekisterin kautta. Moottorin käynnistys- ja sammutusohjauksen muodostus käsitellään kohdassa 6.3.5.



Kuva 19: Käyttöliittymän ohjainten luku

6.3.3 ABB Enhanced -paketin generointi taajuusmuuttajalle

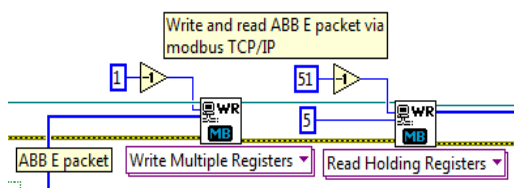
Kuvassa 20 näkyvässä *Control array* -aliohjelmassa generoidaan ABB Enhanced -parametrit, joka kirjoitetaan Modbus TCP/IP -väylän kautta rekistereihin. Nämä parametrit muodostetaan sen perusteella, mitä turvafunktiopainiketta on painettu ja missä asennossa moottorin nopeusohjesäädin on. Lisäksi tämä aliohjelma ohjaa pääsilman näkyvän *Safety function selector* -valintastruktuurin siihen tilaan, mikä vastaa painettua turvafunktio painiketta.



Kuva 20: Control array -aliohjelmia

6.3.4 ABB Enhanced -paketin kirjoitus ja luku Ethernet-väylän kautta

Kuvassa 21 paketti siirtyy funktiolle, joka kirjoittaa sen Modbus TCP/IP -väylää pitkin rekistereihin. Kirjoitusfunktion jälkeen ajetaan lukufunktio, joka lukee *DATA IN* -rekisterit taajuusmuuttajalta. Näissä rekistereissä on moottorin pyörintänopeuden sen hetkinen arvo.



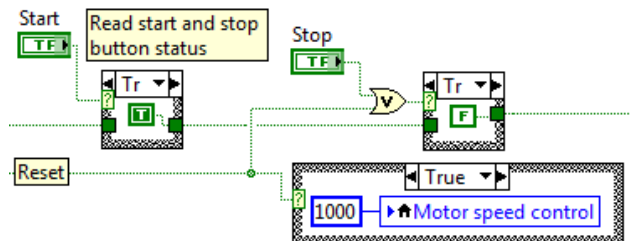
Kuva 21: Modbus TCP/IP kirjoitus ja luku

6.3.5 Moottorin käynnistyksen ohjaus

Aiemmin mainittu moottorin käynnistys ja -pysäytystoiminto on toteutettu kuvassa 22 esitetyllä tavalla. Käyttöliittymän määrittelyissä haluttiin moottorille erilliset käynnistys- ja pysäytyspainikkeet, joten tätä ohjausta ei voitu toteuttaa niin yksinkertaisesti kuin aiemmin esitetyissä turvafunktio-ohjauksissa. Koska moottorin käynnistys tapahtuu

ohjaussanassa yhden bitin tilaa muuttamalla, jouduttiin tähän toimintoon tekemään kuvan 22 mukainen ohjauslogiikka.

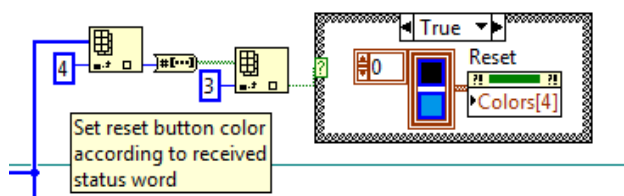
Kuvan 22 kaaviosta voidaan lisäksi todeta, että mikäli *reset*-muuttuja menee *true*-tilaan, moottori sammuu ja sen nopeusohjeksi asetetaan 1000 kierrosta minuutissa.



Kuva 22: Moottorin käynnistys ja sammutus

6.3.6 Reset-painikkeen väri-indikaattori

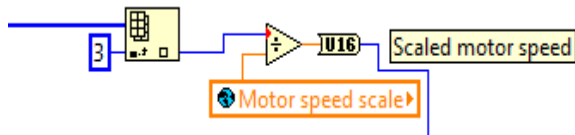
Reset-painikkeen värillä haluttiin indikoida, milloin reset-toiminto on saatu toteutettua turvamoduulissa. Tämä toteutettiin niin, että taulukon 2 mukainen ABB Enhanced -paketti sisältää myös turvamoduulin *status word* -rekisterin arvon. Tästä luetaan neljäs bitti (0...3), jonka perusteella reset-painikkeen väri muutetaan, kun turvamoduuli on nollautunut (kuva 23).



Kuva 23: Reset-painikkeen väri

6.3.7 Moottorinopeuden skaalaus

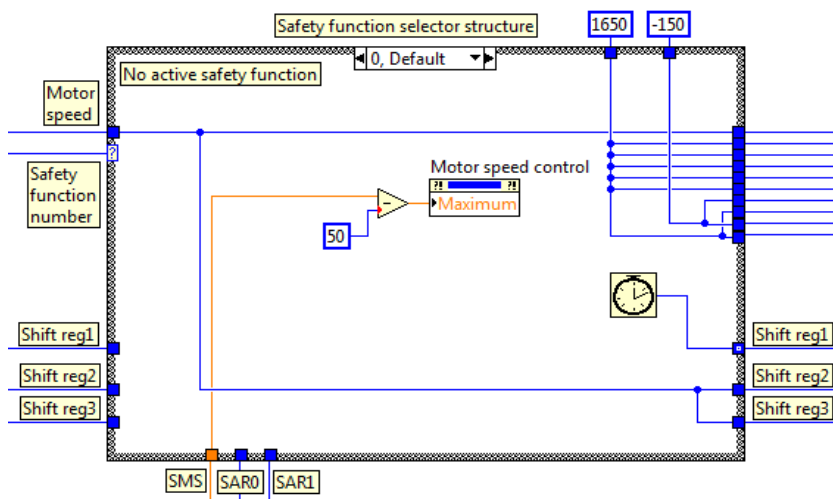
Taajuusmuuttaja mittaa moottorin pyörimisnopeutta moottorin akselilla olevan pulssianturin pulsseista. Koska demosalkuissa on käytössä eri pulssiluvuilla olevia antureita, täytyy ohjelman käyttöliittymässä näytettävä pyörimisnopeus skaalata anturin tyyppin mukaan. Tämä voidaan tehdä asettamalla sopiva skaalauskerroin globaaliin muuttujaa, jonka arvolla jaetaan pulssianturilta saatu nopeustieto (kuva 24).



Kuva 24: Moottorinopeuden skaalaus

6.3.8 Turvafunktiovalitsin: ei aktiivista turvafunktiota

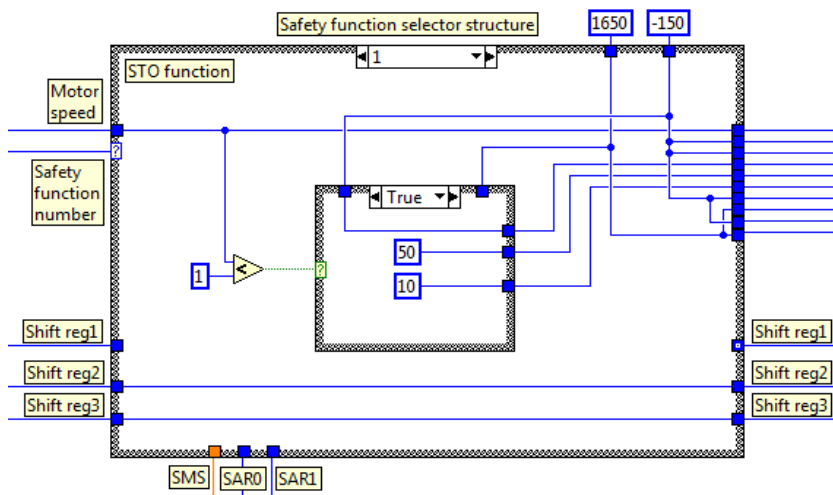
Kun käyttöliittymässä ei ole asetettu päälle mitään turvafunktiota (kuva 25), ohjelma pirtää näyttöön moottorin pyörintänopeuden kuvaajaa. Kuitenkin myös tässä tilassa ohjelma käyttää turvamoduulista luettua SMS-arvoa, jonka perusteella asetetaan käyttöliittymästä säädettävän moottorin nopeuden maksimiarvo. SMS-arvosta vähennetään ohjelmassa vielä luku 50, jotta ollaan varmasti turvallisella nopeusalueella, eikä kierrosluku esimerkiksi nopeassa kiihdytyksessä pääse yli sallitun.



Kuva 25: Ei aktiivista turvafunktiota

6.3.9 Turvafunktiovalitsin: STO-turvafunktio

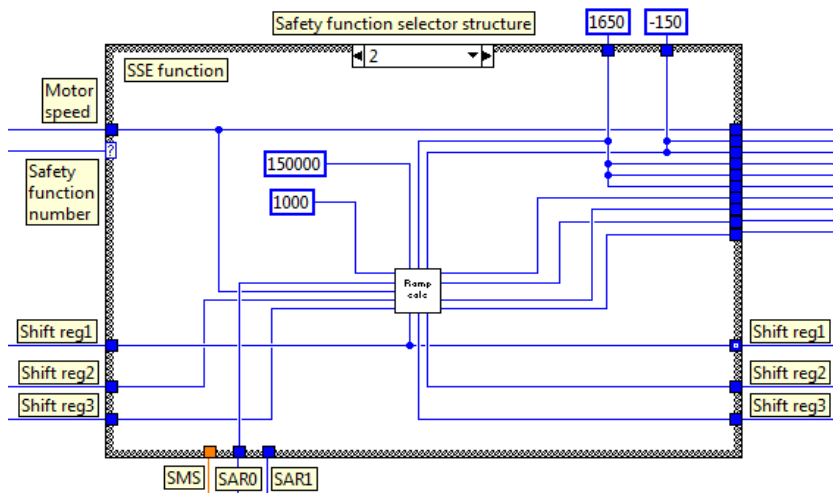
Kuvassa 26 on tilanne, jossa turvafunktio STO on aktivoitu. Käyttöliittymän näyttöön (kuva 14) piirretään pystyviiva sille ajanhetkelle, kun toiminto aktivoituu ja toinen pystyviiva kun moottorin kierrosluku on alle 1 kierrosta minuutissa. Lisäksi tässä jälkimmäisessä vaiheessa aloitetaan keltaisen vaakapalkin piirto, joka kuvaan turvarajaa jota moottorin kierrosnopeus ei voi ylittää. Eli käytännössä moottori pidetään pysähtyneenä.



Kuva 26: STO-turvafunktio

6.3.10 Turvafunktiovalitsin: SSE-turvafunktio

Kuvassa 27 on SSE-turvafunktio aktiivisena. Tämä funktio pysäyttää moottorin mahdollisimman nopeasti ja piirtää pysäytyksen aikana myös turvamoduulista luetun, SAR0 arvon mukaisia sammutusramppeja näyttöön. Nopeuskuvaajan pitää pysyä moottorin sammutuksen aikana näiden ramppien välissä.

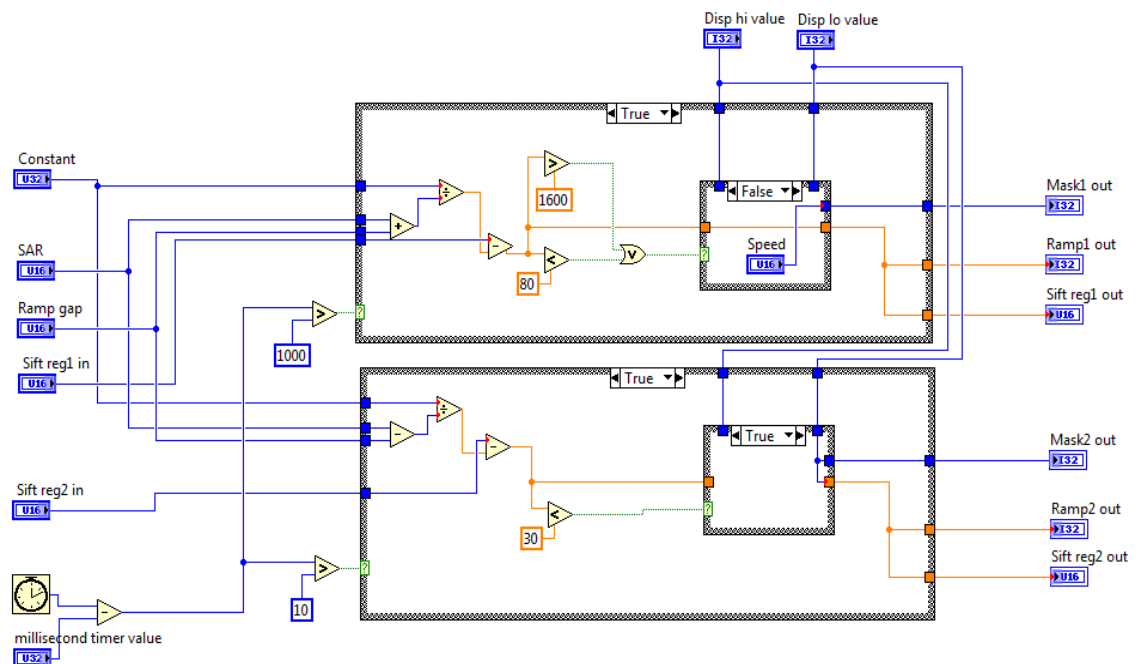


Kuva 27: SSE-turvafunktio

6.3.11 SSE- ja SS1-sammutusramppien laskenta

Kuvassa 28 SSE- ja SS1-turvafunktioissa käytetty LabView-kaavio, jolla näissä funktioissa käytettävien sammutusramppien kulmakertoimet ja muu grafiikka lasketaan. Ohjelma käyttää tähän laskentaan turvamoduulin muistista luettuja SAR0- tai SAR1-

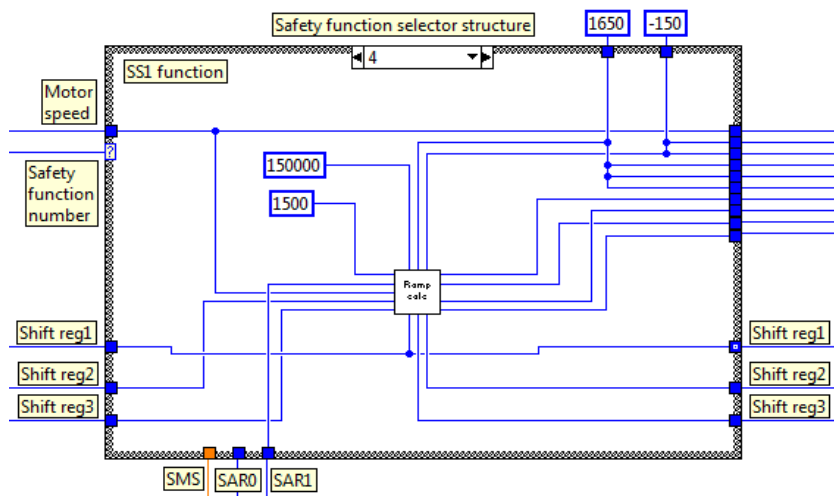
arvoja, sekä moottorin pyörimisnopeustietoa. Nämä rampit piirretään ohjelman näyttöön, kuvaamaan sallittuja rajoja moottorin nopeuden laskulle.



Kuva 28: SSE- ja SS1-sammutusrampien generointi

6.3.12 Turvafunktiovalitsin: SS1-turvafunktio

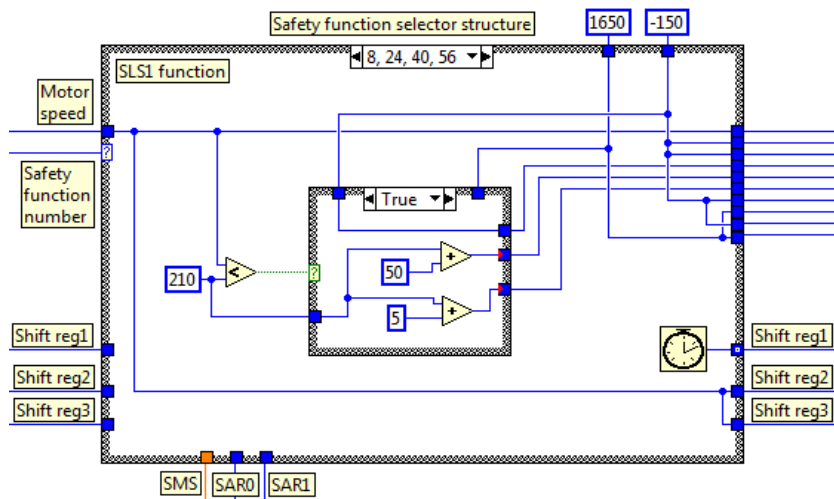
SS1-funktion kaavio ja toiminta on käytännössä sama kuin SSE-funktiolla, ja se käyttää samaa aliohjelmia sammutusrampien laskentaa. Erona funktioissa on ainoastaan se, että tässä käytetään turvamoduulilta luettua parametria SAR1 (kuva 29).



Kuva 29: SS1-turvafunktio

6.3.13 Turvafunktiovalitsin: SLS1-turvafunktio

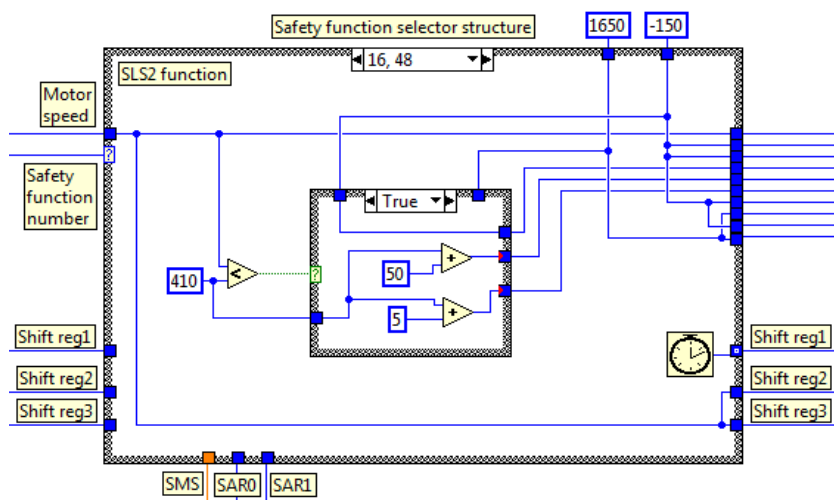
Kuvan 30 SLS1-turvafunktio rajoittaa moottorin nopeuden arvoon 200 kierrosta minuutissa. Kun funktion aktivoidaan, piirtyy ohjelman näyttöön keltainen palkki tuon nopeusarvon yläpuolelle. Tämä kuvaa sitä, ettei tätä nopeutta voida ylittää, kun funktio on aktiivinen (kuva 10).



Kuva 30: SLS1-turvafunktio

6.3.14 Turvafunktiovalitsin: SLS2-turvafunktio

SLS2-turvafunktio (kuva 31) on käytännössä sama kuin SLS1, mutta siinä moottorin nopeus on rajoitettu arvoon 400 kierrosta minuutissa ja täten myös nopeusrajaa kuvaava keltainen palkki piirretään tämän arvon yläpuolelle.

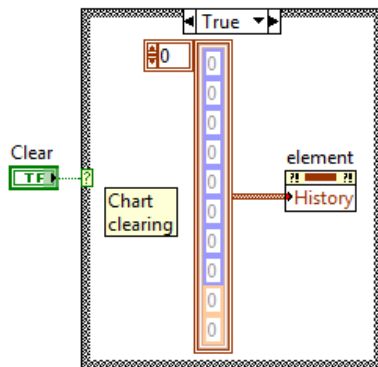


Kuva 31: SLS2-turvafunktio

Kuvasta 33 nähdään kuinka eri turvafunktioiden käyttämät grafiikkaelementtien arvot kasataan ”klusteriin”, joka tämän jälkeen viedään käyttöliittymän grafiikkanäytölle.

6.3.17 Esitysgrafiikan tyhjennys

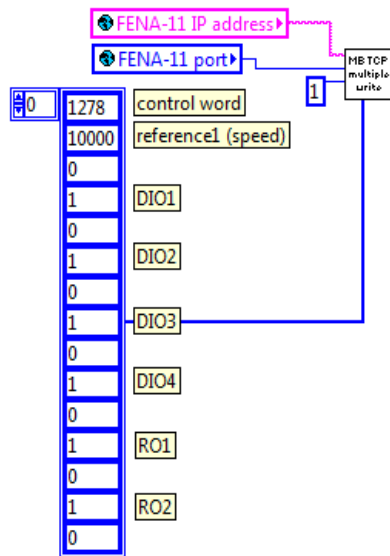
Ohjelmassa on myös painike, jolla grafiikkanäyttö voidaan halutessa tyhjentää. Kun painiketta painetaan, ohjautuu näytölle vastaava grafiikkaklusteri kuin oli esitetty kohdassa 6.3.16, mutta niin että kaikki sen arvot ovat nolla. Tällöin myös näytöllä olevat grafiikkakomponentit nollautuvat.



Kuva 34: Esitysgrafiikan tyhjennys

6.4 Ohjelman sammutus

Ohjelma voidaan sammuttaa painamalla käyttöliittymän Exit-painiketta. Tällöin pääsilmukan ajo keskeytetään ja sen jälkeen taajuusmuuttajalle lähetetään kuvan 35 mukainen Modbus TCP/IP -ohjaus. Tämä ohjaus sammuttaa moottorin, sekä asettaa turvamoduulia ohjaavat I/O-moduulit sellaiseen tilaan, ettei mikään turvafunktio ole aktiivinen.



Kuva 35: Modbus TCP/IP -paketti

7 Yhteenveto

Työ toteutus onnistui suunnitellusti, ja sähköiset kytkennät sekä ohjelmisto saatiin toimimaan halutulla tavalla. Koska turvamoduuli oli tuolloin vielä protovaiheessa eikä vielä saatavilla asiakkaille, ei laitteen käyttöä autenttisessa myyntitilanteessa päästy heti kokeilemaan.

Myöhemmin laite on ollut käytössä ja ohjelmistoon on myös tehty pieniä parannuksia. Laite on toiminut pääsääntöisesti hyvin, mutta ohjelmiston asennus uusien laitteiden käyttöönotossa on koettu joskus hankalaksi. Lisäksi turvamoduulista on tullut uusi versio, joten laitteistoa ja ohjelmistoa pitäisi päivittää myös siltäkin osin.

8 Lähteet

- 1 Suomalaiset juuret: Strömbergin jalanjäljillä vuodesta 1889. Verkkodokumentti. Suomalaiset juuret | ABB <<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia/suomalaiset-juuret>>. Luettu 20.8.2016
- 2 ACS880-01 Rakenna mahdollisuutesi tehokkuuden ja joustavuuden varaan. Verkkodokumentti. <<http://new.abb.com/drives/fi/pienjannitetaajuusmuuttajat/teollisuustaajuusmuuttajat/acs880-taajuusmuuttajat/acs880-01>>. Luettu 20.8.2016
- 3 ABB industrial drives, User's manual, FSO-11 safety functions module. 2012.